

Kurzstudie:

Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG- Emissionen des deutschen Strom- mix im Jahr 2017 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050

Bericht für die HEA - Fachgemeinschaft für
effiziente Energieanwendung e.V.

vorgelegt von

Uwe R. Fritsche
Hans-Werner Greß

Wissenschaftliche Leitung:

Uwe R. Fritsche uf@iinas.org

Kaufmännische Leitung:

Thomas Stetz ts@iinas.org

Büro Darmstadt:

Heidelberger Straße 129 ½
64285 Darmstadt

t (06151) 850-6077

f (06151) 850-6080

Büro Berlin:

Marienstr.19-20
10117 Berlin

t (030) 28482-190

info@iinas.org

Wissenschaftlicher Beirat:

Joseph Alcamo, CESR (DE)
Suani Coelho, CENBIO (BR)
Teresa Pinto Correia, ICAAM (PT)
Maria Curt, UPM (ES)
Marina Fischer-Kowalski, IFF (AT)
Bundit Fungtammasan, JGSEE KMUTT (TH)
Alan Hecht, EPA (US)
Eva Heiskanen, NCRC (FI)
Alois Heißenhuber, TU München (DE)
Edgar Hertwich, NTNU (NO)
Jorge Hilbert, INTA (AR)
Tetsunari Iada, ISEP (JP)
Thomas B. Johansson, Lund Univ. (SE)
Lev Nedorezov, INENKO RAS (RU)
Martina Schäfer, ZTG TU Berlin (DE)
Udo Simonis, WZB (DE)
Ralph Sims, Massey University (NZ)
Leena Srivastava, TERI University (IN)
Helen Watson, UKZN (ZA)
Sir Robert Watson, Tyndall Centre (UK)

Bankverbindung

Volksbank eG Darmstadt
IBAN DE54508900000055548609
BIC GENODEF1VBD

Handelsregister

HRB 90827
Amtsgericht Darmstadt

USt.-ID gem. § 27a UStG

DE 282876833

www.iinas.org

Darmstadt, November 2018

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	ii
Tabellenverzeichnis.....	ii
Abkürzungsverzeichnis.....	iii
1 Einführung	1
2 Recherche der Basisdaten.....	1
3 Bilanzierung des KEV und der THG-Emissionen	4
4 Ergebnisdiskussion und Ausblick.....	5
4.1 Ergebnisdiskussion für 2017	5
4.2 Ausblick auf 2020 bis 2050	5
Literatur.....	9
Anhang: Methodische Hinweise zur Bilanzierung.....	A-1
A-1 Systemgrenzen der Bilanzierung.....	A-1
A-2 Anwendungsbereich („scope“)	A-2
A-3 Allokation.....	A-3
A-4 KEV und KEA	A-3
A-5 Komponenten des KEV.....	A-4
A-6 KEV- und THG-Bilanzierung und Stromkennzeichnung ...	A-4

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	KEV und THG-Emissionen von Strom bei Abgabe aus dem lokalen Netz für 2010-2017 (nach Statistik) sowie 2020 bis 2050 (Szenarien)	7
Bild 2	KEV und THG-Emissionen von Strom bei Abgabe aus dem Kraftwerkspark (ohne Netz- und Verteilverluste) für 2010-2017 (nach Statistik) sowie 2020 bis 2050 (Szenarien)	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Entwicklung der deutschen Brutto-Stromerzeugung 2010-2017 und Projektionen für 2020 bis 2050	2
Tabelle 2	KEV und THG-Emissionen von Strom in 2010-2017.....	4
Tabelle 3	KEV und THG-Emissionen von Strom für 2020 bis 2050.....	5

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AKW	Atomkraftwerk
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Block-Heizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EC	European Commission
EEG	Erneuerbares-Energien-Gesetz
EU	Europäische Union
GEMIS	Globales Emissions-Modell integrierter Systeme
GuD	Gas- und Dampfturbine (Kombi-Kraftwerk)
HEA	Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.
HKW	Heizkraftwerk
IEA	Internationale Energie-Agentur
IINAS	Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien
KEV	kumulierter Energie-Verbrauch
KEV _{NE}	nichterneuerbarer kumulierter Energie-Verbrauch
KEV _{RE}	erneuerbarer (regenerativer) kumulierter Energie-Verbrauch
KW	Kraftwerk
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MW	MegaWatt
ORC	Organic Rankine Cycle
PV	Photovoltaik
RE	Regenerative (erneuerbare) Energien
SK	Deutscher Steinkohle-Verband
THG	Treibhausgase
UN	United Nations (Vereinte Nationen)

1 Einführung

Die HEA - Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. beauftragte IINAS mit einer Kurzstudie zu Daten über den kumulierten Energieverbrauch (KEV) des Mix zur Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2017 sowie Ausblick für 2020 bis 2050 (Szenarien). Parallel wurden die Emissionen an Treibhausgasen (THG) ermittelt. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse dieser Kurzstudie zusammen und aktualisiert Ergebnisse vorheriger Arbeiten¹.

Die Bilanzierungen erfolgten mit dem Computermodell GEMIS Version 5.0, das kostenlos erhältlich ist und alle Basisdaten enthält². GEMIS ermittelt auf Basis von Lebenswegdaten für Energie-, Stoff- und Transportsysteme die Umwelteffekte unter Einbeziehung vorgelagerter Prozessketten im In- und Ausland sowie Herstellungsaufwände für die Prozesse.

Alle Kenndaten, mit denen in diesem Papier gerechnet wurde, stehen in GEMIS für alle Nutzer vollständig transparent zur Verfügung. Damit können auch hier nicht dargestellte Umwelteffekte und Ressourcennutzungen sowie Kosten- und Beschäftigungseffekte eigenständig bilanziert und Detailanalysen zu den hier vorgestellten Ergebnissen durchgeführt werden.

2 Recherche der Basisdaten

Als Grundlage der Arbeiten wurden die zur Bilanzierung des nichterneuerbaren Energieverbrauchs notwendigen Basisdaten zum deutschen nationalen Stromerzeugungsmix des Jahres 2017 auf Basis von Statistiken recherchiert und Anteile der Kraftwerkstypen (nach Brennstoffen), die Entwicklung der Nutzungsgrade sowie der Vorketten ermittelt.

Wie in früheren Berechnungen (IINAS 2012-2018) wurden dabei aktualisierte statistische Grundlagen verwendet (u.a. AGEB 2018; BAFA 2018; BMWi 2018).

Die daraus resultierenden Stromerzeugungsmixe sowie die Projektionen für 2020 bis 2050 (Szenarien) zeigt die folgende Tabelle.

¹ Siehe dazu IINAS (2018) für die Werte von 2016 sowie IINAS (2016) für die Werte des Jahres 2015 und davor.

² GEMIS = Globales Emissions-Modell integrierter Systeme; Bezug über www.gemis.de

Tabelle 1 Entwicklung der deutschen Brutto-Stromerzeugung 2010-2017 und Projektionen für 2020 bis 2050

Erzeugung [TWh] aus	Statistische Daten								Szenario-Daten KS95		
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2020	2030	2050
AKW	140,6	108,0	99,5	97,3	97,1	91,8	84,6	76,3	63,0	0,0	0,0
Braunkohle	145,9	150,1	160,7	160,9	155,8	154,5	149,5	147,5	72,9	5,0	0,0
Steinkohle	117,0	112,4	116,4	127,3	118,6	117,7	112,2	92,6	55,6	30,4	0,0
Erdgas	89,3	86,1	76,4	67,5	61,1	62,0	81,3	86,5	62,4	93,3	13,1
Öl	8,7	7,2	7,6	7,2	5,7	6,2	5,8	5,9	2,9	0,5	0,0
Wasserkraft	21,0	17,7	22,1	23,0	19,6	19,0	20,5	20,2	21,9	23,1	24,7
Wind onshore	37,6	48,3	49,9	50,8	55,9	71,4	67,6	88,7	99,7	153,9	389,8
Wind offshore	0,2	0,6	0,7	0,9	1,4	7,8	12,5	17,9	25,8	51,0	180,0
Solar-PV	11,7	19,6	26,4	31,0	36,1	38,7	38,1	39,9	45,3	66,1	123,4
Geothermie	0,03	0,02	0,03	0,08	0,10	0,13	0,16	0,16	1,1	4,2	12,3
Biomasse	29,6	32,8	38,2	40,1	42,2	44,6	45,0	45,5	33,3	24,2	3,8
Hausmüll*	4,7	4,8	5,0	5,4	6,07	5,8	5,93	5,9	6,1	5,3	3,6
andere**	20,4	19,7	19,9	20,4	21,2	21,5	21,9	19,8	9,5	6,9	0,7
Summe***	626	606	623	632	621	641	645	647	500	464	751

*= biogener Anteil; **= inkl. Gicht-/Kokereigas, nicht-biogenem Hausmüll; ***= ohne Pumpstrom; Werte gerundet, dadurch geringe Abweichungen in der Summenbildung

Quelle: AGEF (2018), BMWi (2018) und UBA (2018) für 2010-2017; für 2020 bis 2050: ÖKO & ISI (2015) sowie eigene Abschätzung von IINAS

Die Struktur der Stromerzeugung hat in GEMIS eine **höhere Auflösung** als in Tabelle 1 dargestellt, da das Modell für Stromerzeugungsprozesse die verschiedenen Brennstoffe (z.B. ost-/westdeutsche Braunkohle, Inlands-/Import-Steinkohle) bzw. Technologietypen (z.B. Gasturbinen- und GuD-Kraftwerke) abbildet und für Brennstoff-Vorketten (Lebenswege) auch Energieimportmixe berücksichtigt.

Daher wurden die Daten aus Tabelle 1 auf Grundlage von Sekundärstatistiken³ auf die zur Definition der Stromerzeugung detaillierteren Zuordnungen zu Kraftwerkstypen in GEMIS umgerechnet.

³ Vgl. BAFA (2018) und SK (2018).

Ergänzend wurden, wie schon in IINAS (2018) dargestellt, **Projektionen zur Stromerzeugung** von 2020 bis 2050 berechnet, die auf dem Szenario „KS95“ (ÖKO & ISI 2015) zum Klimaschutzplan der Bundesregierung beruhen, das eine sehr anspruchsvolle THG-Reduktion (95% bis 2050 ggü. 1990) als Ziel verfolgt.

Dabei ist zu beachten, dass die tatsächlich mögliche Entwicklung von 2020 bis 2050 durch **starke Unsicherheiten** geprägt ist:

Einerseits hat die Bundesregierung die EEG-Ausbaukorridore für erneuerbare Energien **eingengt**, andererseits kann die sog. Sektorkopplung längerfristig zu erheblich **höheren Strombedarfen** führen⁴ und ein möglicher Kohleausstieg bis 2040 erfordert **zusätzliche** (erneuerbare) **Ersatzkapazitäten** schon in 2030.

Das hier zugrunde gelegte Szenario KS95 bildet die langfristige Erreichung der Klimaschutz-Vorgaben (Paris, 2 °C-Ziel) und die Dekarbonisierung des Stromsektors ab, was einerseits höhere Anteile an Erneuerbaren erfordert und andererseits höhere Effizienz auf der Nachfrageseite.

Bis 2020 unterstellt das KS95-Szenario bereits erhebliche Anstrengungen zur effizienteren Stromnutzung, während von 2030 bis 2050 die im Szenario ange-setzte deutliche Ausweitung des Stromeinsatzes im Verkehrs- und Wärmesektor zu einer wesentlich erhöhten Stromerzeugung führt – allerdings mit sehr hohen Anteilen an Erneuerbaren (vgl. Tabelle 1).

Es handelt sich beim hier angenommenen Szenario damit **nicht** um eine "Referenzentwicklung", sondern es unterstellt die Einhaltung eines sehr anspruchsvollen THG-Reduktionsziels bis 2050. Ob - und wenn ja wie - dies real eintritt, ist offen – damit besteht die o.g. **Unsicherheiten** sowohl hinsichtlich des langfristigen Strommixes wie auch der Höhe der Stromnachfrage (und entsprechender Erzeugung).

Daher gibt Abschnitt 4.2 eine kurze Diskussion zur „Robustheit“ der im Abschnitt 3 dargestellten Ergebnisse.

⁴ Unter den Stichworten „Power-to-Gas“ (PtG) und „Power-to-Liquids“ (PtL) wird zunehmend über die Nutzung von erneuerbarem „Überschussstrom“ zur Bereitstellung von erneuerbaren gasförmigen (PtG) und flüssigen (PtL) Energieträgern diskutiert. Zur Sektorkopplung, bei der solche „Power-to-anything“ (PtX)-Optionen im Wärmemarkt sowie im Verkehrssektor als nutzbar angesehen werden und die erheblich höhere Strombedarfe impliziert, siehe Quaschnig (2016). Bei steigendem PtX-Einsatz treten signifikante Umwandlungs- und Speicherverluste auf, die die notwendige Bruttostromerzeugung erhöhen.

3 Bilanzierung des KEV und der THG-Emissionen

Die recherchierten Daten wurden in das Computermodell GEMIS (Version 5.0) eingegeben und die Lebenswege der Stromerzeugung für die Jahre 2010-2016 **aktualisiert** sowie für **2017 neu** bilanziert. **Ergänzend** werden die gegenüber einer früheren Publikation (IINAS 2018) unveränderten Szenario-Werte für die Jahre 2020-2050 ausgewiesen.

Die Ergebnisse für die **durchschnittliche kWh Strombereitstellung** aus dem lokalen Netz sowie aus dem **Kraftwerkspark** (d.h. ohne Netz- und Verteilverluste) zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 2 KEV und THG-Emissionen von Strom in 2010-2017

Option	Kumulierter Energieverbrauch (KEV) [kWh _{primär} /kWh _{el}]		THG-Emissionen [g/kWh _{el}]	
	nichterneuerbar	gesamt	CO ₂ Äq	CO ₂
Strom lokal 2010	2,34	2,74	596	569
Strom lokal 2011	2,21	2,68	606	579
Strom lokal 2012	2,13	2,65	608	580
Strom lokal 2013	2,10	2,65	609	581
Strom lokal 2014	2,04	2,64	591	564
Strom lokal 2015	1,91	2,55	557	531
Strom lokal 2016	1,92	2,54	564	538
Strom lokal 2017	1,75	2,45	515	491
Kraftwerkspark 2010	2,27	2,66	578	552
Kraftwerkspark 2011	2,14	2,60	588	562
Kraftwerkspark 2012	2,06	2,57	589	563
Kraftwerkspark 2013	2,03	2,57	590	564
Kraftwerkspark 2014	1,98	2,56	573	547
Kraftwerkspark 2015	1,86	2,47	540	515
Kraftwerkspark 2016	1,86	2,47	547	522
Kraftwerkspark 2017	1,70	2,38	499	476

Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 5.0

Die hier **aktualisierten** Daten für 2010 bis 2016 führen gegenüber den früher publizierten Ergebnissen (IINAS 2012-2018) zu geringen Änderungen der KEV- und THG-Werte, die bei -0,1% bis -0,7 % liegen mit Ausnahme der Jahre 2014-2016 (-1,4 bis +1,5%).

Die hier ermittelten **neuen** Werte für 2017 zeigen, dass sich die Tendenz zur Senkung von KEV- und THG-Werten **fortsetzt**.

Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2017 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050

4 Ergebnisdiskussion und Ausblick

4.1 Ergebnisdiskussion für 2017

Die ermittelten Daten zum **nichterneuerbaren KEV** (KEV_{NE}) von Strom aus dem bundesdeutschen **Kraftwerkspark** (erzeugerseitig) für das Jahr 2017 liegen mit $1,70 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ deutlich niedriger als in den Jahren davor (vgl. Tabelle 2).

Für die Abgabe aus dem **lokalen Stromnetz** (verbraucherseitig) sind die Werte für den KEV_{NE} des Jahres 2017 von $1,75 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ gegenüber den Vorjahren gleichfalls weiter gesunken.

Die gegenüber den Vorjahren geringeren Werte für 2017 ergeben sich durch steigende Anteile **erneuerbaren Stroms**, dessen KEV_{NE} **erheblich unter** dem der fossilen und nuklearen Stromerzeugung liegt (vgl. Tabelle 4 in Kapitel 4.3), sowie den weiter gesunkenen Anteil an Strom aus AKW (vgl. Tabelle 1), der vergleichsweise hohe spezifische KEV_{NE} -Werte aufweist.

Bei den THG-Emissionen ergibt sich ein ähnliches Bild: Seit 2014 sinken die Emissionen mit Ausnahme eines geringen Anstiegs in 2015 (siehe Tabelle 2).

4.2 Ausblick auf 2020 bis 2050

Nach 2017 wird sich die Umstrukturierung des deutschen Kraftwerksparks in Richtung höherer Anteile erneuerbarer Energien fortsetzen, so dass auch **künftig** von **weiter sinkenden** nichterneuerbaren KEV-Werten der Strombereitstellung auszugehen ist.

Die Ergebnisse der aktualisierten Szenarien für 2020 und 2030 sowie für das neu aufgenommene Zieljahr 2050 zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3 KEV und THG-Emissionen von Strom für 2020 bis 2050

Option	Kumulierter Energieverbrauch (KEV) [kWh _{primär} /kWh _{el}]		THG-Emissionen [g/kWh _{el}]	
	nichterneuerbar	gesamt	CO ₂ Äq	CO ₂
Strom lokal 2020	1,44	2,18	378	359
Strom lokal 2030	0,65	1,60	193	182
Strom lokal 2050	0,05	1,15	21	19
Kraftwerkspark 2020	1,39	2,11	366	348
Kraftwerkspark 2030	0,63	1,55	187	176
Kraftwerkspark 2050	0,05	1,11	20	18

Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 5.0; Werte gegenüber IINAS (2018) aktualisiert

Auf Basis des Szenarios KS95 für das **Jahr 2020** ergeben sich erzeugungsseitig ein KEV_{NE} von $1,39 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ und $366 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$ bzw. verbraucherseitig $1,44 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ sowie $378 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$.

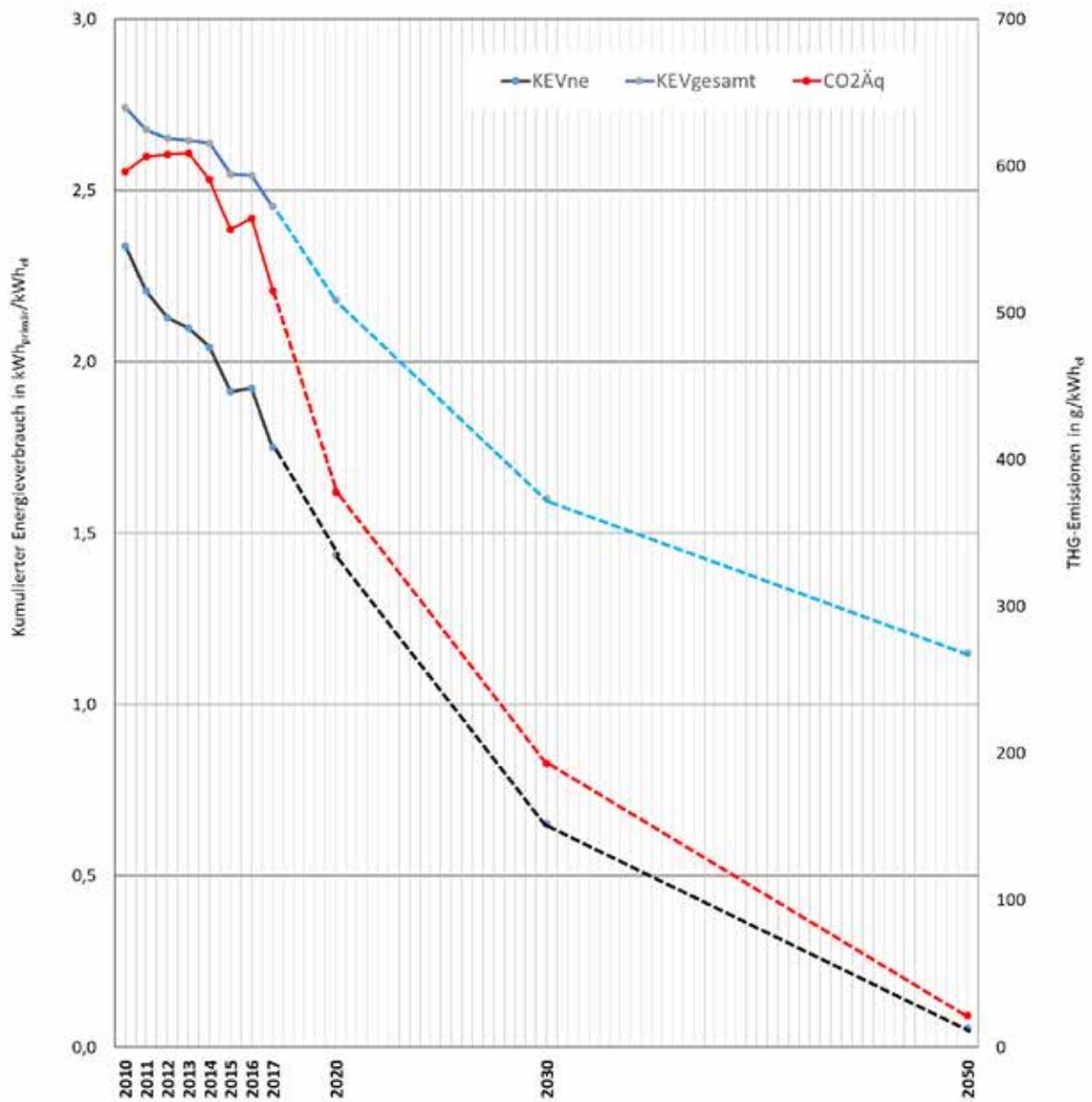
Erzeugerseitig ergibt sich im Szenario KS95 **für 2030** ein KEV_{NE} von $0,63 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ und THG-Emissionen von $187 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$. Verbraucherseitig ergeben sich ein KEV_{NE} von $0,65 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ und $193 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$.

Die hier **für 2020 und 2030** ermittelten Werte liegen **deutlich niedriger** als in früheren Projektionen (IINAS 2016), da nun das Szenario KS95 des Klimaschutzplans unterlegt ist, das **gegenüber der früheren Projektion** deutlich geringere Kohleanteile ansetzt, um die Klimaschutzziele zu erreichen.

Das Szenario KS95 ergibt **für 2050** erzeugerseitig ein KEV_{NE} von nur noch $0,05 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ und THG-Emissionen von $20 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$. Verbraucherseitig ergeben sich ein KEV_{NE} von $0,05 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ und $21 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$.

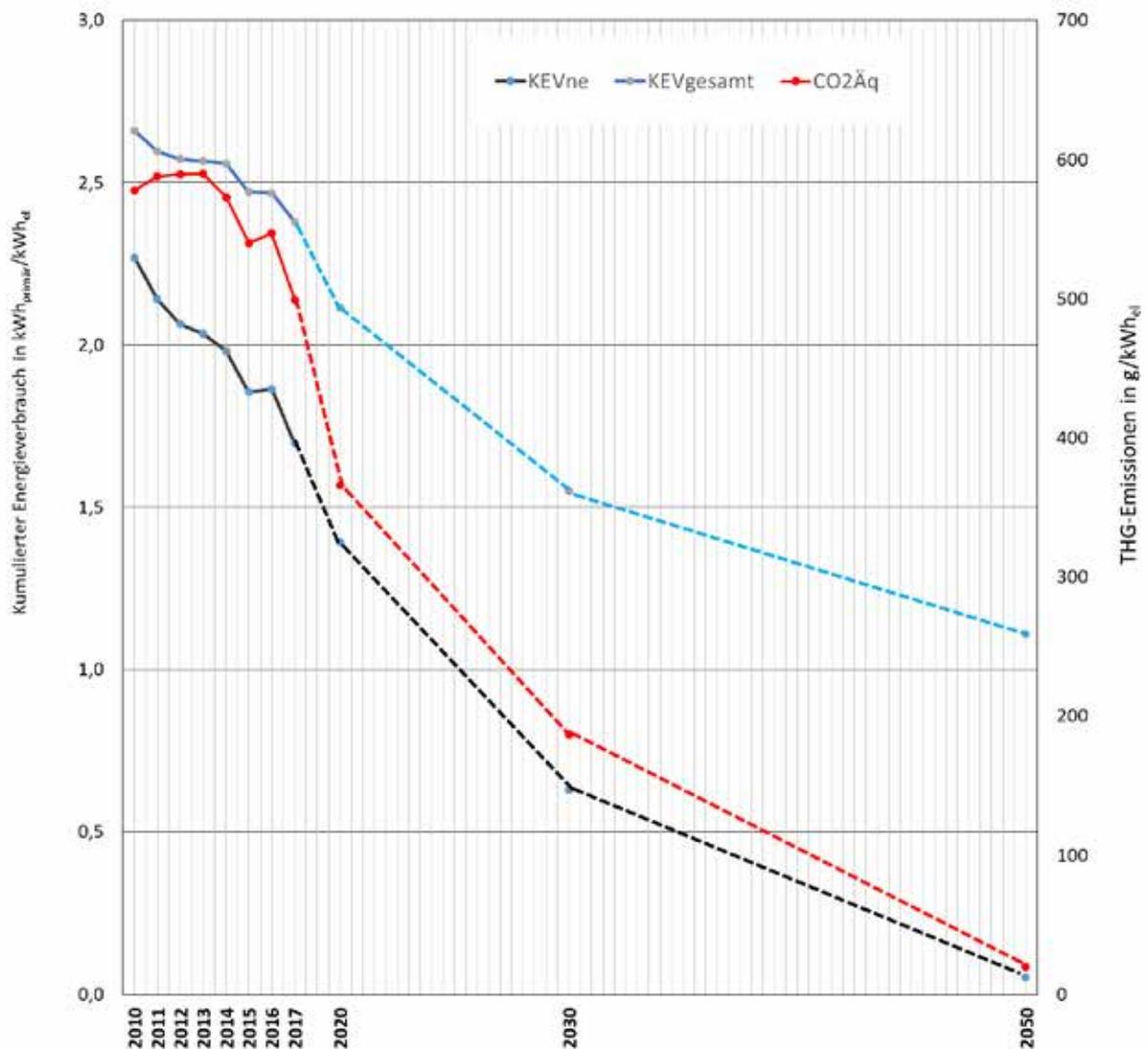
Den aktualisierten Gesamtverlauf von 2010-2017 (nach Statistik) sowie 2020 bis 2050 (Szenarien) zeigen die folgenden Abbildungen.

Bild 1 KEV und THG-Emissionen von Strom bei Abgabe aus dem lokalen Netz für 2010-2017 (nach Statistik) sowie 2020 bis 2050 (Szenarien)



Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 5.0; gestrichelte Linien = interpolierte Werte

Bild 2 KEV und THG-Emissionen von Strom bei Abgabe aus dem Kraftwerkspark (ohne Netz- und Verteilverluste) für 2010-2017 (nach Statistik) sowie 2020 bis 2050 (Szenarien)



Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 5.0; gestrichelte Linien = interpolierte Werte

Der Gesamttrend zu geringeren KEV-Werten seit 2010 ist gut sichtbar und wird sich in den Szenario-Jahren 2020, 2030 und 2050 signifikant fortsetzen. Entsprechend den Annahmen des Szenarios KS95 würde ab etwa dem Jahr 2025 der KEV_{NE} auf Werte unter 1 kWh_{primär}/kWh_{el} sinken, und dies würde bis 2050 auf Werte unter 0,1 kWh_{primär}/kWh_{el} führen.

Die THG-Emissionen in den Szenario-Jahren 2020-2050 werden nach den KS95-Annahmen weiter stark absinken und sowohl erzeuger- wie auch verbraucherseitig Werte deutlich unter 300 g CO₂Äq/kWh_{el} (2020) bzw. weit unter 200 g CO₂Äq/kWh_{el} (2030) erreichen und bis 2050 weiter auf Werte um 20 g CO₂Äq/kWh_{el} sinken.

Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2017 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050

Literatur

- AGEB (2018) Energieverbrauch in Deutschland - Daten für das 1.-4. Quartal 2017. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. Berlin https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=quartalsbericht_q4_2017.pdf
- BAFA (2018) Entwicklung des deutschen Gasmarktes (monatliche Bilanzen 1998-2017). Eschborn http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/egas_entwicklung_1991.xls
- BMWi (2018) Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWi. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls.xls>
- EN ISO 14041 Umweltmanagement Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz, Deutsche Fassung prEN ISO 14041:1997
- Fritsche, Uwe et al. (1999) KEA: mehr als eine Zahl - Basisdaten und Methoden zum Kumulierten Energieaufwand (KEA). Ergebnisse des F&E-Vorhabens "Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko-Audits". Öko-Institut, IREB, IFIB, DIW, ISI. i.A. des UBA. Darmstadt usw. http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/1999_g3-kea-brosch.pdf
- Fritsche, Uwe et al. (2003) Anwendung und Kommunikation des Kumulierten Energieverbrauchs (KEV) als praktikabler umweltbezogener Bewertungs- und Entscheidungsindikator für energieintensive Produkte und Dienstleistungen. FfE, Ecofys, IFEU, ÖKO & TH Karlsruhe Endbericht zum F&E-Vorhaben i.A. des UBA. München usw. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2779.pdf>
- Fritsche, Uwe & Rausch, Lothar (2008) Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Endbericht zum F&E-Vorhaben FKZ 360 16 008 des Öko-Instituts i.A. des UBA. Darmstadt <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3476.pdf>
- Fritsche, Uwe & Rausch, Lothar (2009) Life Cycle Analysis of GHG and Air Pollutant Emissions from Renewable and Conventional Electricity, Heating, and Transport Fuel Options in the EU until 2030. Oeko-Institut. ETC/ACC Technical Paper 2009/18. Darmstadt http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs/ETCACC_TP_2009_18_LCA_GHG_AE_2013-2030.pdf
- Fritsche, Uwe & Rausch, Lothar (2010) GEMIS-Emissionsfaktoren für Treibhausgase und KWK-Zurechnung. Öko-Institut. Kurzpapier für die Landeshauptstadt München. Darmstadt http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2010_GEMIS_EF_KWK_LHM.pdf
- Fritsche, Uwe (2016) Primärenergetische Bewertung von Strom in Deutschland: Stand und Ausblick. EnEV aktuell Heft 4/2016: 14-16
- IINAS (2012) Der nichterneuerbare Primärenergieverbrauch des nationalen Strommix in Deutschland im Jahr 2011. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt [http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2012_KEV-Strom-2011_\(HEA\).pdf](http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2012_KEV-Strom-2011_(HEA).pdf)

- IINAS (2013) Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2012. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2013_KEV-Strom-2012_HEA.pdf
- IINAS (2014) Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2013. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2014_KEV-Strom-2013_HEA.pdf
- IINAS (2015) Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2014 sowie Ausblicke auf 2015 und 2020. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2015_KEV-Strom-2014_HEA.pdf
- IINAS (2015b) Development of the Primary Energy Factor of Electricity Generation in the EU-28 from 2010-2013. Fritsche, Uwe R. & Gress, Hans-Werner. International Institute for Sustainability Analysis and Strategy. Prepared for EHPA. Darmstadt http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2015_PEF_EU-28_Electricity_2010-2013.pdf
- IINAS (2016) Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2015 sowie Ausblicke auf 2020 und 2030. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2016_KEV-Strom-2015_HEA.pdf
- IINAS (2018) Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2016 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2018_KEV-Strom-2016_HEA.pdf
- ISI et al. (2017) Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland Modul 3: Referenzszenario und Basisszenario. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Consentec GmbH und ifeu unter Beteiligung der Unterauftragnehmer M-Five, TU Wien, TEP Energy GmbH und GEF Ingenieur AG. Studie i.A. des BMWi. Karlsruhe usw. <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-3-referenzszenario-und-basisszenario.pdf>
- ÖKO & ISI (2015) Klimaschutzszenario 2050 - 2. Endbericht. Repenning, Julia et al. Öko-Institut & Fraunhofer ISI im Auftrag des BMUB. Berlin, Karlsruhe <http://www.oeko.de/oeko-doc/2441/2015-598-de.pdf>

- Quaschnig, Volker (2016) Sektorkopplung durch die Energiewende. Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung. Hochschule für Technik und Wirtschaft. Berlin <http://www.volker-quaschnig.de/publis/studien/sectorkopplung/Sektorkopplungsstudie.pdf>
- VDI (1997) VDI Richtlinie 4600 - Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden. Düsseldorf

Anhang: Methodische Hinweise zur Bilanzierung

Die hier verwendete Bilanzierung von Lebenswegen folgt den Vorgaben der ISO 14040ff für Ökobilanzen, jedoch in vereinfachter Form (u.a. kein peer review).

A-1 Systemgrenzen der Bilanzierung

Die hier erfolgte Bilanzierung berücksichtigt **alle wesentlichen Stufen der Lebenswege** inklusive Herstellung von Anlagen, bei Importen auch im Ausland, sowie die entsprechenden **Transportaufwendungen**. Weiterhin werden Hilfsenergien (Strom, Wärme) und Hilfsstoffe (z.B. Schmiermittel, Kalkstein für Entschwefelung, NH₃ für DeNO_x) einbezogen, wenn diese mengenmäßig relevant sind (generelles 1%-Kriterium für den Massenstrom) oder spezifisch hohe Umwelteffekte zeigen (z.B. Edelmetalle als Katalysatoren).

Die Bilanzen klammern jedoch die **Entsorgung** aus⁵. Grund hierfür ist, dass in vielen Fällen stoffliche Komponenten wiederverwertet werden können (Aluminium, Beton, Glas, Stahl, Kupfer...) und die entsprechenden „Gewinne“ aus dem Recycling den Aufwand für Abriß und Rückbau übersteigen, insgesamt also eine Gutschrift erfolgen müsste. Da jedoch die künftigen Entsorgungssysteme sowie die künftig zu verrechnenden Gutschriften für vermiedene Primärmaterialien bei für Energiesysteme typischen Lebensdauern von 15-30 Jahren ungewiss sind, wird vereinfachend der Abriß und Rückbau **nicht** betrachtet.

Ebenfalls ausgeklammert wird die Entsorgung **kontinuierlich anfallender Reststoffe und Abfälle**, da hier ebenfalls einerseits Aufwände für deren schadlose Beseitigung entstehen (z.B. Transport und Deponierung), andererseits aber Komponenten wie z.B. Entschwefelungsprodukte und Aschen in hohem Maße rezykliert werden und damit wiederum Gutschriften für vermiedene Primärmaterialien (z.B. Gips, Split) anzusetzen wären.

Sensitivitätsrechnungen mit GEMIS für Steinkohlekraftwerke haben gezeigt, dass die vernachlässigten Effekte im Bereich unter 1% für KEV und THG-Emissionen liegen und damit innerhalb der Datengüte.

Weiterhin ist zu beachten, dass sich die Berechnung auf die bundesdeutsche **Bruttostromerzeugung** bezieht, d.h. die für Exporte genutzte Stromerzeugung ist in den Werten **enthalten**. Umgekehrt werden die über Stromimporte aus dem Ausland induzierten Effekte **hier nicht** einbezogen, da Deutschland einen signifikanten Stromexport-Überschuss aufweist, der auch bis 2020 – wenn auch reduziert – andauern wird.

⁵ Dies gilt nicht für AKW, da hier eine besondere Situation vorliegt. Die Aufwände für Abriß und Rückbau sowie für die direkte Endlagerung radioaktiver Abfälle sind als Aufschlag in den Daten enthalten.

Diese Vereinfachung führt eingedenk der bekannten Lastflüsse (Importe von Wasserkraftstrom aus Österreich und Schweiz, Kohlestrom aus Polen und der Tschechischen Republik sowie Atomstrom aus Frankreich) zu keiner nennenswerten Verzerrung, da der anzusetzende Importmix zwar die deutsche Strombilanz belasten würde, aber für die Exporte entsprechende „vermiedene Erzeugung“ in – vorwiegend fossilen – Kraftwerken im Ausland gutgeschrieben werden müsste.

Zwar könnte mit einem EU-Mix für den Stromaustausch gerechnet – siehe z.B. die entsprechenden Daten in IINAS (2015b) – und damit vereinfachend die „Netto“-Bilanz für Deutschland ermittelt werden, jedoch würde dies nicht die realen Lastflüsse und Grenzkraftwerksbedingungen in den im Stromaustausch einbezogenen Ländern reflektieren.

Würde dennoch eine solche Bilanz berechnet, würde sich ob des Exportüberschusses eine – allerdings nur leichte – Reduktion der hier ermittelten Werte ergeben. Die dargestellten Ergebnisse sind daher im Hinblick auf die Variation der Ex- und Importbilanz als robuste obere Grenze anzusehen⁶.

A-2 Anwendungsbereich („scope“)

Die hier vorgelegten Bilanzierungen dienen zur Bestimmung des KEV und der THG-Emissionen des bundesdeutschen **Strommixes** in den gegebenen Jahren für die **erzeugerseitige** Bereitstellung von Strom (Kraftwerkseinspeisung in Hochspannungsnetz) bzw. für die **verbraucherseitige** Bereitstellung (d.h. inkl. Netz- und Übertragungs- sowie Umspannverlusten).

Sie reflektieren die **durchschnittlichen** Effekte, die bei der Bereitstellung von Strom aus der öffentlichen Versorgung inklusiver vertraglich gesicherter Übergabeleistung des Bergbaus und der Industrie entstehen.

Dabei wurde die erneuerbare Stromerzeugung – unabhängig von **monetären** Flüssen der EEG-Vergütung und Marktprämien – proportional auf **alle** erzeugten Strommengen „umgelegt“. Dies erfolgt ebenfalls für die (relativ geringe) KWK-Stromerzeugung, d.h. auch hier wurde **unabhängig** von der monetären Vergütung für eingespeisten KWK-Strom die erzeugten kWh auf die gesamte Stromerzeugung proportional umgerechnet.

Dies entspricht den statistischen Zurechnungen von DESTATIS und AGEB und den Vorgaben der IEA-Energiestatistik.

⁶ Beim KEV wäre diese Bilanz durchaus sinnvoll, jedoch nicht bei den THG-Emissionen, da hier das EU-Emissionshandelsystem erlaubt, im Ausland „vermiedene“ Emissionen im Rahmen der Verpflichtungsperiode durch Emissionen an anderer Stelle zu kompensieren. Das **territorial** orientierte Konzept der THG-Bilanzierung spricht daher für die hier verwendete Bruttobilanz.

A-3 Allokation

Wie in A-2 dargestellt, erfolgt in der hier vorgelegten Bilanzierung eine **rein energetische** Zurechnung von Strommengen aus bestimmten Erzeugungstypen (RE, KWK...) auf das nationale Strommix durch proportionale Anteile der jeweiligen Erzeugung im Gesamtmix. Eine „monetäre“ Allokation auf bestimmte Verbrauchergruppen, die besondere Vergütungsleistungen (nach dem EEG bzw. KWK-Gesetz) über die Strompreise erbringen, erfolgt also **nicht**⁷.

Es bleibt die Frage, wie die Stromerzeugung mittels Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bilanziert wird.

Hierfür gibt es verschiedene Ansätze, die jedoch bezogen auf den KEV und die THG-Emissionen des **gesamten** Strommixes wenig ergebniswirksam sind (vgl. Fritsche & Rausch 2008).

Um kompatibel mit den EU-Regelungen zur KWK sowie den statistischen Daten zu bleiben, wurde für die Bilanzierung eine **energiewertbezogene** Allokation zwischen KWK-Strom und KWK-Wärme angesetzt, die der sog. „finnischen Methode“ der EU-KWK-Richtlinie folgt.

A-4 KEV und KEA

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) wird schon seit den 1970er Jahren weltweit als Kennzahl für Energiesysteme verwendet. Anfang der 1990er Jahre entwarfen Experten des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) mit Beteiligung des Umweltbundesamts ein Regelwerk zur Bestimmung des KEA, die VDI-Richtlinie 4600 (VDI 1997). Diese Richtlinie enthält Definitionen, Rechenmethoden und Beispiele für KEA-Anwendungen. Sie ist Grundstein aller heutigen KEA-Arbeiten und präzisiert, was mit dem kumulierten Energieaufwand gemeint ist.

Die KEA-Richtlinie stellte erstmals deutlich heraus, daß der Primärenergieaufwand auch unter Umweltgesichtspunkten eine wichtige Größe ist.

In einem Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes wurde Ende der 1990er Jahre der sog. kumulierte **Energieverbrauch** (KEV) eingeführt (vgl. Fritsche u.a. 1999 + 2003)⁸. Der KEV repräsentiert wie der KEA die **Summe aller Primärenergieinputs**, inklusive solcher zur Materialherstellung, klammert aber den Energieinhalt von Brennstoffen aus, die **stofflich** genutzt werden (z.B. Bauholz).

⁷ Siehe A-6 für eine kurze Diskussion der Frage, welche Bilanzen für den Stromverbrauch einzelner Verbrauchergruppen (z.B. Haushalte) erstellt werden können.

⁸ Physikalisch gesehen kann Energie nicht „verbraucht“, sondern nur in andere Formen umgewandelt werden. Der Ausdruck „Verbrauch“ wurde gewählt, um eine Kompatibilität mit dem statistischen Primärenergieverbrauch herzustellen.

Weiterhin setzt der KEV **definitiv** den Nutzungsgrad **jeder** Primärenergiegewinnung auf 100% (z.B. Bergbau, Solarzelle, Wasserkraftwerk), d.h. alle „Förderverluste“ gehen zu Lasten des Lagers (bei fossilen und nuklearen Energieträgern) bzw. des Reservoirs (bei Wasserkraft) oder natürlichem Energiefluß (z.B. bei Solar- und Windenergie). Damit ist eine Kompatibilität mit den UN-, IEA-, EUROSTAT- und DESTATIS-Energiebilanzen gewährleistet.

A-5 Komponenten des KEV

Wichtig ist die Unterscheidung in KEV_{Summe} (gesamter KEV) sowie die Komponenten

- KEV_{NE} = nichterneuerbare (fossile + nukleare) Primärenergien
- KEV_{RE} = regenerative (erneuerbare) Primärenergien

Diese Unterscheidung wird auch international verwendet und dient dazu, den KEV_{NE} als „Leitindikator“ für vereinfachte Ökobilanzen verwenden zu können (Fritsche u.a. 1999):

Der **gesamte** KEV ist zwar für ressourcenorientierte Fragen relevant, aber **nicht** „richtungssicher“ in Bezug auf Umweltaspekte wie THG-Emissionen und Versauerungspotenzial (vgl. Fritsche u.a. 2003). Wird dagegen auf den KEV_{NE} abgestellt, ergibt sich eine tendenziell gute Übereinstimmung mit den Werten für THG-Emissionen. Zudem wird die Erfüllung der **politischen Zielsetzung**, den Anteil Erneuerbarer zu steigern, notwendig mit höheren KEV_{RE} -Anteilen einhergehen, und dies würde in der alleinigen Verwendung des gesamten KEV nicht sichtbar sein. Daher wird in der hier vorgelegten Bilanzierung vorwiegend auf den KEV_{NE} abgestellt und der KEV_{Summe} nur „nachrichtlich“ ausgewiesen.

A-6 KEV- und THG-Bilanzierung und Stromkennzeichnung

Der hier ermittelte KEV für den durchschnittlichen Strom (vgl. A-1) kann nicht herangezogen werden, um belastbare Aussagen über **Teilmengen** der Stromerzeugung oder des Stromverbrauchs abzuleiten.

Verbraucherseitig ist die **Stromkennzeichnung** ein zunehmend wichtiges Instrument, um Kunden über die Umweltaspekte des bezogenen Produkts zu informieren.

Die Stromkennzeichnung verwendet jedoch **andere** Bilanzgrenzen – sie orientiert sich an den Unternehmen und deren Bezüge und kann z.B. die Anteile von Erneuerbaren gezielt auf Kundengruppen (etwa entsprechend der von ihnen gezahlten EEG-Umlage) zurechnen.